

Министерство образования и науки РФ

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УДК 537.226.4

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке
_____ Кружаев В.В.
«__» _____ 2013

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

В рамках выполнения п.2.1.2.1 Плана реализации мероприятий Программы развития
УрФУ на 2013 год

ПО ТЕМЕ:

«Исследование свойств наноструктурированной сегнетоэлектрической
стеклокерамики BST для устройств накопления энергии»

(Заключительный)

Договор возмездного оказания услуг (выполнения работ, на создание произведения)
№2.1.2.1/1

Зав.кафедрой

(подпись, дата)

А.В. Германенко

Научный руководитель

(подпись, дата)

В.Я. Шур

Исполнитель

(подпись, дата)

И.С. Батурин

Екатеринбург 2013

Реферат

1. ФИО автора (ов): Батурин Иван Сергеевич, Baturin Ivan Sergeevich

2. Аннотация:

В ходе работы выполнены исследования свойств наноструктурированной сегнетоэлектрической стеклокерамики $(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$, которые влияют на предельную энергоемкость данных материалах при применении в конденсаторных устройствах накопления энергии. Показана взаимосвязь между составом и параметрами синтеза стеклокерамики с микроструктурой, диэлектрическими свойствами и доменной структурой. Показано, что оптимальное соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ составляет около 1.4, а концентрация добавки AlF_3 2 моль%. Показано, что добавление La_2O_3 приводит к уменьшению среднего размера зерен, сопровождающееся увеличением показателя блокировки (увеличение вклада сопротивления областей межзеренных интерфейсов), смещением фазового перехода в область меньших температур. Исследованные составы стеклокерамики имеют размытый фазовый переход и диэлектрические свойства, характерные для релаксорных сегнетоэлектриков.

Properties of nanostructured ferroelectric $(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$ glass-ceramics important for energy storage properties were studied. The relation between glass-ceramics composition, synthesis parameters, microstructure and domain structure was revealed. It was shown that the optimal ratio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ is about 1.4, while the AlF_3 concentration is 2 mol%. Addition of La_2O_3 leads to decrease of the average grain size accompanied by the increase of the blocking factor (increase of the input of the grain boundaries into total impedance) and shift of the phase transition into lower temperature. Studied glass-ceramics are characterized by diffuse phase transition and dielectric properties typical for relaxor ferroelectric.

3. Ключевые слова:

СТЕКЛОКЕРАМИКА, НАКОПЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ, ТИТАНАТ БАРИЯ СТРОНЦИЯ, ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА

GLASS-CERAMICS, ENERGY STORAGE, BST, BARIUM-STRONTIUM TITANATE, DOMAIN STRUCTURE

4. Тема отчета:

Исследование свойств наноструктурированной сегнетоэлектрической стеклокерамики BST для устройств накопления энергии

Study of the nanostructured ferroelectric glass-ceramics BST for energy storage applications.

Аннотация

В отчете изложены результаты, полученные в рамках работы по договору №2.1.2.1/1 от 27.05.2013 г. о выполнении научных исследований по теме: «Исследование свойств наноструктурированной сегнетоэлектрической стеклокерамики BST для устройств накопления энергии» в рамках выполнения п. 2.1.2.1 Плана реализации мероприятий Программы развития УрФУ.

Основной целью проекта являлось выявление роли поверхности раздела между сегнетоэлектрическими нанокристаллитами и вмещающей их стеклянной матрицей на диэлектрические свойства алюмосиликатных стеклокристаллических материалов на основе $(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$ (BST) с целью поиска путей увеличения удельной плотности запасаемой энергии.

В рамках проекта решались следующие задачи по экспериментальному изучению свойств наноструктурированных сегнетоэлектрических стеклокристаллических материалов:

1. Изготовление наноструктурированных сегнетоэлектрических стеклокерамических материалов на основе BST с различными параметрами синтеза и состава
2. Изучение диэлектрических свойств и порога диэлектрического пробоя наноструктурированных сегнетоэлектрических стеклокерамик, полученных при различных параметрах синтеза
3. Исследование переключения поляризации во внешнем электрическом поле в наноструктурированных сегнетоэлектрических материалах
4. Исследование микроструктуры, сегнетоэлектрических свойств и доменной структуры сегнетоэлектрической нанокристаллитов в стеклянной матрице с помощью сканирующий зондовой микроскопии пьезоэлектрического отклика

В результате выполнения работы получены следующие **основные результаты**:

1. Изготовлены и подготовлены для выполнения дальнейших исследований образцы стеклокерамики с добавлением La_2O_3 и AlF_3 и различными параметрами синтеза.
2. В результате проведенного анализа современного состояния данной области исследований показано, что до настоящего времени исследования доменной структуры рассматриваемых стеклокерамических материалов не проводилось.
3. Показано, что микроструктура подготовленных образцов стеклокерамики существенно зависит от состава добавок и параметров метода синтеза.

4. Исследовано влияние добавки AlF_3 на микроструктуру, плотность сохранения энергии и свойства стеклокерамики BST. Показано, что максимальная плотность сохраняемой энергии, а также максимальные значения диэлектрической проницаемости достигаются при добавлении с 2моль% AlF_3 . Показано, что изменение концентрации AlF_3 существенно меняет размер кристаллитов и микроструктуру.
5. Исследовано влияния соотношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ на диэлектрические свойства и плотность хранения энергии стеклокерамики BST. Показано, что максимальные значения диэлектрической прочности достигается при соотношении около 1.4.
6. С помощью сканирующей электронной микроскопии определены характерные размеры сегнетоэлектрических кристаллитов и их форма, а также доля пор в зависимости от концентрации добавки AlF_3 .
7. Показано, что добавление La_2O_3 приводит к уменьшению среднего размера зерен, сопровождающееся увеличением показателя блокировки (увеличение вклада сопротивления областей межзеренных интерфейсов), смещением фазового перехода в область меньших температур.
8. Визуализирована доменная структуры нанокристаллитов в стеклянной матрице с нанометровым разрешением с помощью сканирующей зондовой микроскопии пьезоэлектрического отклика. Предложена методика коррекции измеренных данных, позволяющая получить информацию о доменной структуре при низком уровне сигнала и наличии смещений, обусловленных паразитным электростатическим взаимодействием зондовый датчик-образец и систематическими погрешностями прибора
9. Широкие максимумы диэлектрической проницаемости свидетельствуют о размытом фазовом переходе
10. В стеклокерамике BST максимум диэлектрической проницаемости с увеличением частоты сдвигается в область более высоких температур, а их величина уменьшается, что соответствует характерным особенностям релаксорных сегнетоэлектриков
11. Увеличение концентрации AlF_3 приводит к увеличению диэлектрической проницаемости и снижению температуры максимума.

Публикации по результатам выполнения проекта:

К содержательной части отчёта приложены статьи, опубликованные и принятые в печать за время выполнения работы в международных реферируемых журналах, цитируемых в базах данных Web of knowledge и Scopus.

1. X. Wang, Y. Zhang, **I. Baturin**, T. Liang, Blocking effect of crystal–glass interface in lanthanum doped barium strontium titanate glass–ceramics // Mater. Res. Bull.- 2013.- V. 48, № 10.- pp. 3817-3821.
2. Y. Zhang, L. Ma, X. Wang, B. Wen., X. Liu, **I. Baturin**, Spatial heterogeneity of piezoelectric properties in fatigued lead zirconate titanate ceramics // Phys. Status Solidi A.- 2013.- в печати (принята в печать, опубликована онлайн 23 августа 2013 г., DOI: 10.1002/pssa.201228864)
3. **I.S. Baturin**, D.S. Chezganov, M.M. Neradovskiy, N.A. Naumova, V.Ya. Shur, Y. Zhang, X. Wang, Study of ferroelectric domain structure of barium strontium titanate based glass-ceramics // Ferroelectrics. – 2013. – V. 442, № 1. – pp. 131-136.
4. X. Wang, Y. Zhang, L. Cui, and **I.S. Baturin**, Effect of SiO₂/Al₂O₃ Ratio on Crystallization and Dielectric Properties of Barium Strontium Titanate Glass-Ceramics // Ferroelectrics. – 2013. – V. 442, № 1.– pp. 109-114.
5. Z. Zheng, Y. Zhang, X. Wang, Q. Zhang, and **I. Baturin**, Variation of DC breakdown strength with phase transition temperature in (Ba_{1-x}Sr_x)TiO₃ ceramics // Ferroelectrics. – 2013. – V. 442, № 1. – pp. 115-122.